

CZU: 538.9

CERCETAREA DEPENDENȚEI DE TEMPERATURĂ A CONDUCTIVITĂȚII ELECTRICE LA STRATURILE SUBȚIRI SEMICONDUCTOARE DE ZnSe

Mihail Popa, l.sup.dr.

(Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți, Moldova)

Gheorghe Ioan Rusu, prof.dr.

(Universitatea „Al. I. Cuza” din Iași, România)

Straturile subțiri de ZnSe au fost depuse pe suporturi de sticlă prin evaporare termică în vid în volum cvasi-închis. Ca rezultat al tratamentului termic, ce constă din câteva cicluri de încălzire/răcire succesive într-un domeniu determinat de temperaturi ($\Delta T=300-500K$), dependența de temperatură a conductivității electrice devine reversibilă. Acest fapt indică o stabilizare a structurii straturilor.

Introducere

Dintre parametrii caracteristici materialelor semiconductoare, cel mai intens studiată în prezent este conductivitatea electrică.

Studiul influenței temperaturii asupra conductivității electrice a straturilor subțiri semiconductoare oferă informații nu numai asupra mecanismelor de

conducție care acționează în straturile respective, dar poate pune în evidență și eventualele modificări de structură care pot avea loc în strat în procesul încălzirii acestora [1, 2].

Scopul acestei lucrări este de a prezenta unele rezultate experimentale privind dependența de temperatură a conductivității electrice a straturilor subțiri semiconductoare de ZnSe.

Detalii experimentale

Pentru determinarea conductivității electrice a straturilor subțiri, rezistența electrică a acestora a fost măsurată în mod direct cu un multimetru de tip KEYTHLEY 2010 (care poate măsura rezistențe electrice cu valori cuprinse între $10^{-6}\Omega$ și $10^8\Omega$), iar temperatura probei a fost determinată cu ajutorul unui termocuplu de cupru-constantan fixat pe suprafața stratului [3].

Rezistivitatea electrică a unui strat subțire poate fi determinată din relația:

$$\rho = R \frac{A}{l}, \quad (1)$$

unde A este aria secțiunii transversale, $A = d \cdot L$, d este grosimea stratului, L – lățimea stratului, iar l – lungimea stratului (distanța dintre electrozi) [3].

Obținem:

$$\rho = R \frac{d \cdot L}{l}, \quad (2)$$

și, respectiv, conductivitatea electrică:

$$\sigma = \frac{l}{d \cdot L} \cdot \frac{1}{R}. \quad (3)$$

Temperatura stratului subțire de ZnSe a fost calculată din relația:

$$T_{\text{str}} = T = \frac{U_S(\text{mV})}{\alpha_S} + T_{\text{cam}} + 273,15 \text{ (K)}, \quad (4)$$

unde $\alpha_S = 0,033 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ reprezintă coeficientul Seebeck pentru termocuplul de cupru-constantan, iar T_{cam} este temperatura camerei [3].

În teoria fenomenelor de transport [1, 6, 9, 10] dependența conductivității electrice de temperatură este descrisă de relația

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_g}{2k_B \cdot T}\right), \quad (5)$$

unde σ_0 este conductivitatea electrică la 0°C , iar σ este conductivitatea electrică la temperatura T .

Dacă logaritmăm relația (5), obținem:

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - \frac{E_g}{2k_B} \cdot \frac{1}{T}. \quad (6)$$

De regulă, expresia (6) se mai scrie și sub forma:

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - \frac{E_g}{2k_B \cdot 10^3} \cdot \frac{10^3}{T}. \quad (7)$$

Se reprezintă dependența $\ln \sigma = f(10^3/T)$. (8)

Rezultate experimentale

Pentru straturile subțiri de ZnSe, dependența de temperatură a conductivității electrice a fost studiată în timpul unor tratamente termice constând dintr-o serie de încălziri și răciri succesive (cu rata de temperatură 6K/min) efectuate în domeniul de temperaturi 300 – 500K.

În fig. 1 – 8 sunt reprezentate dependențele $\ln \sigma = f(10^3/T)$ pentru unele straturi subțiri policristaline de ZnSe ($d = 0.15 - 0.99 \mu\text{m}$), preparate prin metoda evaporării în vid, pe suporturi neîncălzite de sticlă ($T_{\text{sup}} = 300\text{K}$), cu rata de depunere $r_d = 1.30 - 1.60\text{nm}$.

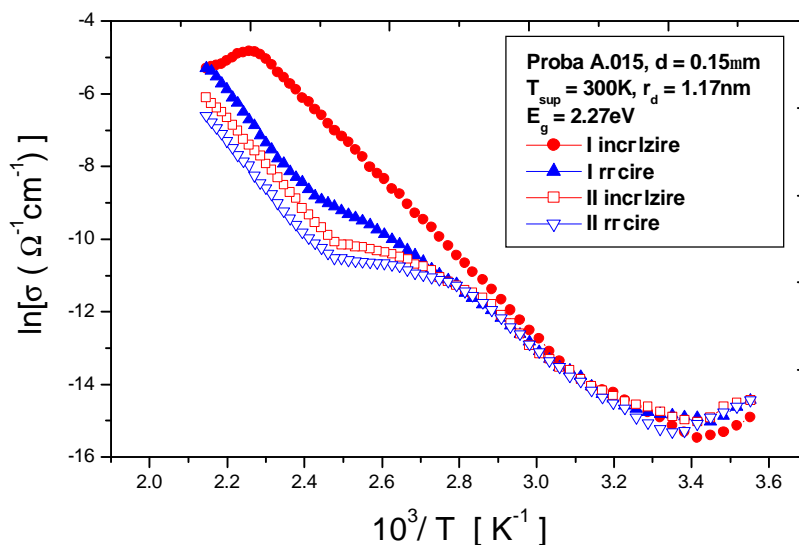


Fig. 1. Dependența de temperatură a conductivității electrice pentru proba A.015

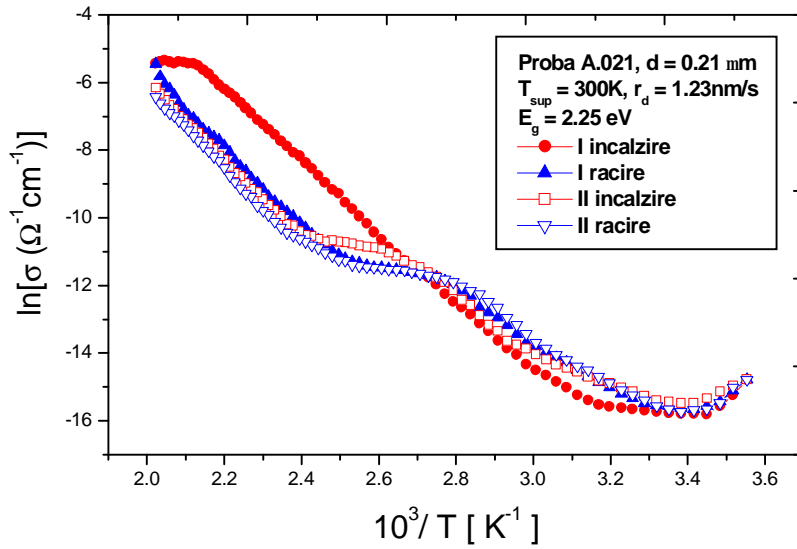


Fig. 2. Dependența de temperatură a conductivității electrice pentru proba A.021

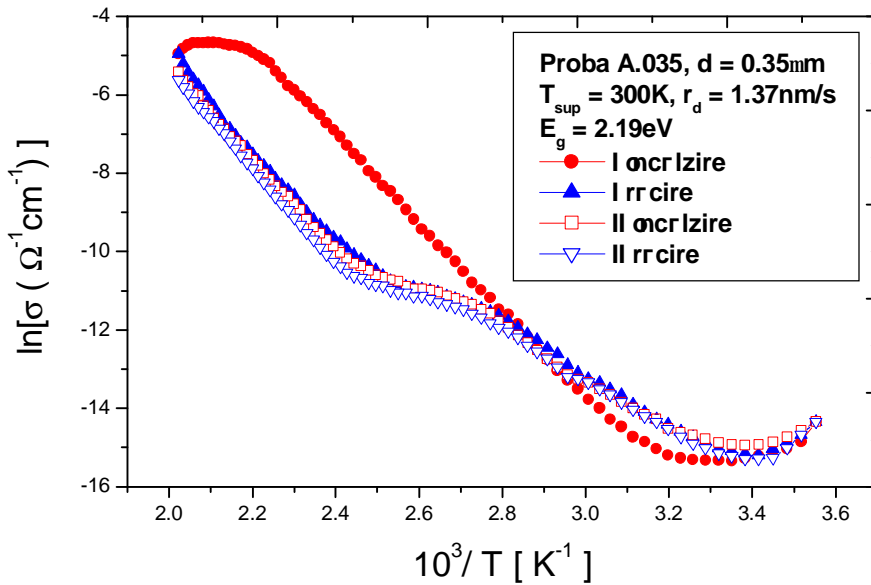


Fig. 3. Dependența de temperatură a conductivității electrice pentru proba A.035

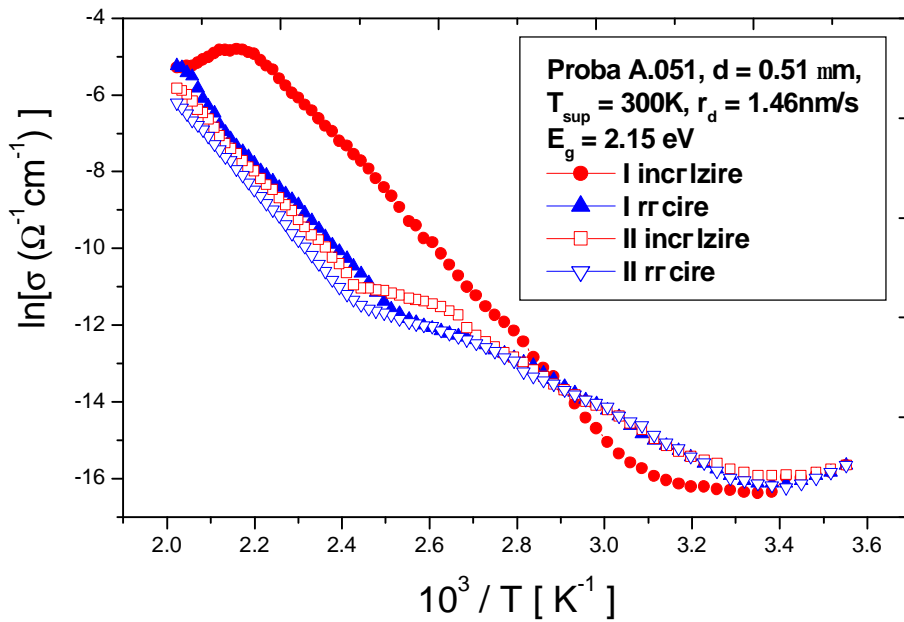


Fig. 4. Dependența de temperatură a conductivității electrice pentru proba A.051

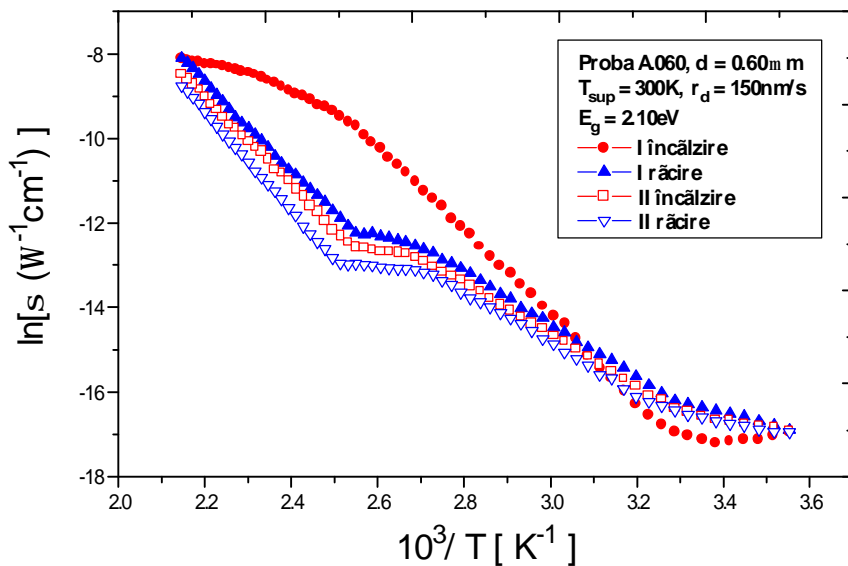


Fig. 5. Dependența de temperatură a conductivității electrice pentru proba A.060

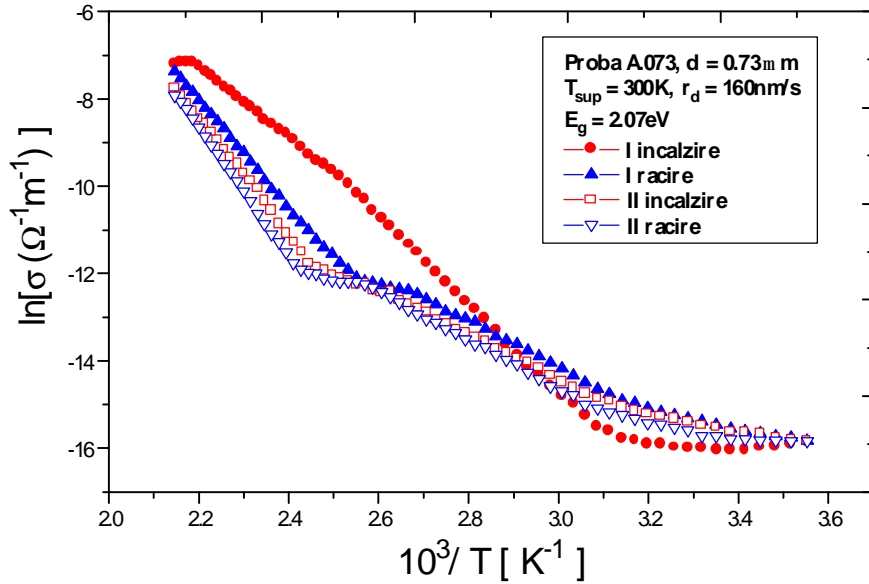


Fig. 6. Dependența de temperatură a conductivității electrice pentru proba A.073

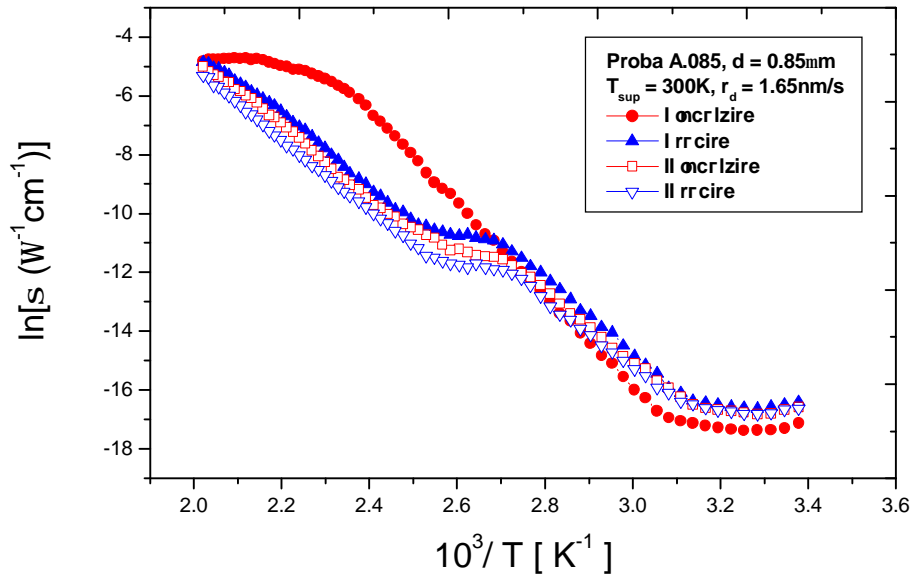


Fig.7. Dependența de temperatură a conductivității electrice pentru proba A.085

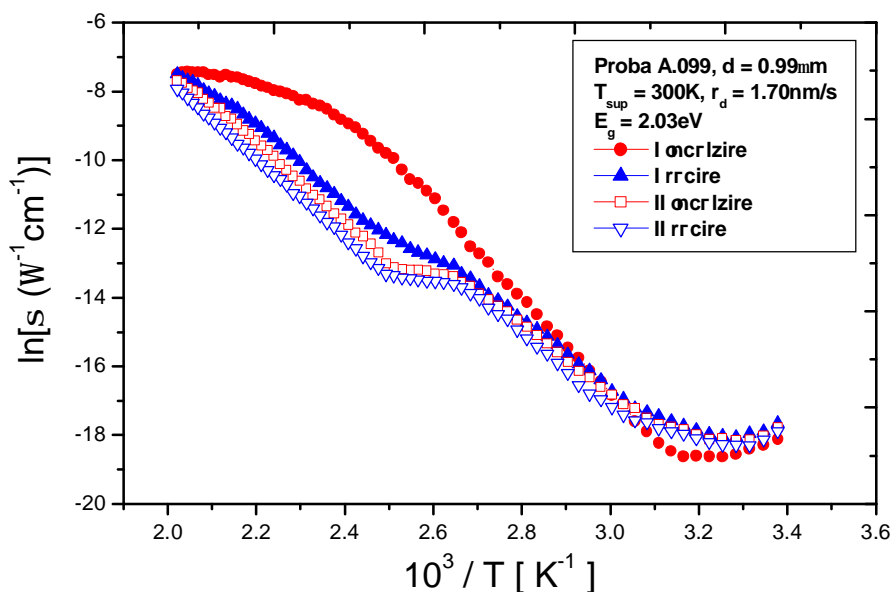


Fig. 8. Dependența de temperatură a conductivității electrice pentru proba A.099

În timpul primei încălziri are loc o creștere accentuată a conductivității electrice, iar spre sfârșit creșterea lui σ se diminuează, ca la final să devină o valoare constantă. În timpul primei răciri, cât și în următorul ciclu de încălzire-răcire, curbele devin reversibile și prezintă trei porțiuni distincte:

- prima porțiune, situată în domeniul temperaturilor mici, în care se presupune că straturile prezintă o *conducție extrinsecă*;

- a doua porțiune, situată în domeniul temperaturilor intermediare, în care conductivitatea electrică rămâne aproximativ constantă sau chiar scade odată cu creșterea temperaturii, determinată, probabil, de scăderea mobilității purtătorilor de sarcină (acesta reprezintă *domeniul de epuizare*);

- a treia porțiune, în care se consideră *conducția intrinsecă*, situată în domeniul temperaturilor mai ridicate.

Din panta în domeniul conducției intrinseci a dependențelor $\ln\sigma = f(10^3/T)$ s-a determinat lărgimea benzii interzise a ZnSe. Valorile găsite pentru E_g au variat între 2.27eV (pentru stratul cu grosimea de 0.15 μ m) și 2.03eV (pentru cel cu $d = 0.99\mu$ m).

În tabelul de mai jos sunt prezentate unele date referitoare la eșantioanele ale căror dependențe $\ln\sigma = f(10^3/T)$ sunt prezentate în Fig. 1 – 8. Odată cu creșterea grosimii straturilor subțiri de ZnSe, valoarea lărgimii benzii interzise, E_g , determinată din panta conducției intrinseci, se micșorează. Acest fapt a fost

observat și în cazul valorilor E_g , determinate din dependențele $\alpha^2(h\nu)^2 = f(h\nu)$, care sunt analizate detaliat în lucrarea [7].

Evoluția valorilor E_g și ΔE_{ex} funcție de grosimea straturilor subțiri de ZnSe depuse pe suporturi neîncălzite de sticlă

Proba	d (μm)	T_{sup} (K)	r_d (nm/s)	E_g (eV)	ΔE_{ex} (eV)
A.015	0.15	300	1.17	2.27	0.60
A.021	0.21	300	1.23	2.25	0.58
A.035	0.35	300	1.37	2.19	0.58
A.051	0.51	300	1.46	2.15	0.57
A.060	0.60	300	1.50	2.10	0.56
A.073	0.73	300	1.60	2.07	0.54
A.085	0.85	300	1.65	2.05	0.53
A.099	0.99	300	1.70	2.03	0.52

Prezența porțiunii determinate de conducția extrinsecă în dependențele $\ln\sigma = f(10^3/T)$ ne duce la ideea că în straturile studiate sunt prezente nivele energetice adiționale localizate adânc în interiorul benzii interzise. În cristalele de ZnSe, defectele native sunt atomii interstițiali de zinc (Zn_i) și vacanțele de seleniu (V_{Se}). Nivelele donore, Zn_i , sunt situate mai jos de minimul benzii de conducție ($\Delta E_d = 0,90\text{eV}$) [2, 4], iar nivelele acceptoare, V_{Se} , sunt localizate mai sus de marginea superioară a benzii de valență ($\Delta E_a = 0,01\text{eV}$) [2, 4]. În domeniul de temperaturi ($k_B T = 0.026 - 0.043\text{eV}$), impuritățile puțin adânci (donorii și acceptorii) sunt ionizate termic [5, 6] și nivelul Fermi este situat aproape de mijlocul benzii interzise.

Din pantele curbelor $\ln\sigma = f(10^3/T)$ în domeniul conducției extrinseci (fig. 1-8) au fost determinate valorile energiei de activare termică, ΔE_d , care variază între 0.52eV și 0.60eV, în domeniul de temperaturi $T < 500\text{K}$ (vezi tabelul). Probabil, aceste valori pot fi atribuite unor complexe defect – impuritate de tip $Zn_i - V_{Se}$. Valorile mai mici pentru energia de activare pot fi atribuite zincului interstițial ionizat [2].

În domeniul temperaturilor ridicate mecanismul conducției electrice poate fi bine descris prin aplicarea modelului conducției în bandă, în timp ce în domeniul temperaturilor mai mici conducția poate fi explicată pe baza unor modele elaborate pentru straturi subțiri policristaline.

Concluzii

Studiind dependența de temperatură a conductivității electrice la straturile subțiri policristaline de ZnSe, s-a stabilit că dependențele de tip $\ln\sigma = f(10^3/T)$ devin reversibile după câteva cicluri de încălzire-răcire și că, de regulă, prezintă trei

porțiuni: porțiunea conducției extrinseci (la temperaturi mici), domeniul de epuizare și porțiunea conducției intrinseci (la temperaturi mari). Din panta conducției intrinseci a fost determinată lărgimea benzii interzise a ZnSe.

Valoarea energiei de activare termică a conductivității electrice, determinată din panta conducției intrinseci a curbelor de tip $\ln\sigma = f(10^3/T)$, se micșorează odată cu creșterea grosimii straturilor subțiri policristaline de ZnSe.

Bibliografie

1. Физика и химия соединений $A^{II}B^{VI}$, под. ред. С. А. Медведева, Москва, Изд-во “Мир”, 1970.
2. Недеогло, D.D., Симашкевись, А.В., Электрические и люминисцентные свойства селенида цинка, Кишинев, Штиинца, 1984.
3. Popa, M. E., Rusu, G.I., Dispozitiv pentru studiul dependenței de temperatură a conductivității electrice la straturile subțiri semiconductoare, Fizică și Tehnică: Procese, modele experimente, Bălți, 1/2007, p. 30-36.
4. Bhargava, R.(Ed.), Properties of Wide Bandgap II –VI, Semiconductors Inspection, London, 1997.
5. Jain, M.(Ed.), II – VI Semiconductor Compounds, World Scientific, Singapore, 1993.
6. Wolf, H.F., Semiconductors, Wiley, New York, 1971.
7. Popa, M. E., Contribuții la studiul proprietăților electrice și optice ale unor compuși semiconductori binari în straturi subțiri: Rezumatul tezei de doctorat, Universitatea “Al. I. Cuza”, Iași, 2003, 56p.

CZU: 538.9

THE STUDY OF TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF ZnSe SEMICONDUCTORS THIN FILMS

Mihail Popa, Senior lecturer, PhD
(Alec Russo Balti State University, Moldova)

Gheorghe Ioan Rusu, Professor, PhD
(Al. I. Cuza University of Iasi, Romania)

Zinc selenide thin films were deposited onto glass substrates by the quasi – closed volume technique under vacuum.

After a heat treatment, consisting of several successive heating/cooling cycles within a determined temperature range ($\Delta T=300-450K$) the temperature dependence of the electrical conductivity becomes reversible. This fact indicates the stabilization of the film structure.

Prezentat la redacție la 25.12.08